

領域略称名：スロー地震学
領域番号：2804

令和3年度科学研究費助成事業
「新学術領域研究（研究領域提案型）」
に係る研究成果報告書（研究領域）兼
事後評価報告書

「スロー地震学」

領域設定期間

平成28年度～令和2年度

令和3年6月

領域代表者 東京大学・地震研究所・教授・小原 一成

目 次

研究組織

1 総括班・総括班以外の計画研究	2
2 公募研究	3

研究領域全体に係る事項

3 交付決定額	6
4 研究領域の目的及び概要	7
5 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況	9
6 研究目的の達成度及び主な成果	11
7 研究発表の状況	16
8 研究組織の連携体制	21
9 研究費の使用状況	22
10 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況	24
11 若手研究者の育成に関する取組実績	25
12 総括班評価者による評価	26

研究組織

(令和3年3月末現在。ただし完了した研究課題は完了時現在、補助事業廃止の研究課題は廃止時現在。)

1 総括班・総括班以外の計画研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
X00 総	JP16H06472 スロー地震学	平成28年度 ～ 令和2年度	小原 一成	東京大学・地震研究所・ 教授	6
Y00 国	JP16K21728 スロー地震学の国際展開	平成28年度 ～ 令和2年度	小原 一成	東京大学・地震研究所・ 教授	6
A01 計	JP16H06473 海陸機動的観測に基づくスロー 地震発生様式の解明	平成28年度 ～ 令和2年度	小原 一成	東京大学・地震研究所・ 教授	8
A02 計	JP16H06474 測地観測によるスロー地震の物 理像の解明	平成28年度 ～ 令和2年度	廣瀬 仁	神戸大学・ 都市安全研究センター・ 准教授	9
B01 計	JP16H06475 スロー地震発生領域周辺の地震 学的・電磁気学的構造の解明	平成28年度 ～ 令和2年度	望月 公廣	東京大学・地震研究所・ 准教授	7
B02 計	JP16H06476 スロー地震の地質学的描像と摩 擦・水理特性の解明	平成28年度 ～ 令和2年度	氏家 恒太郎	筑波大学・生命環境系・ 准教授	7
C01 計	JP16H06477 低速変形から高速すべりまでの 地球科学的モデル構築	平成28年度 ～ 令和2年度	井出 哲	東京大学・ 大学院理学系研究科 (理学部)・教授	8
C02 計	JP16H06478 非平衡物理学に基づくスロー地 震と通常地震の統一的理解	平成28年度 ～ 令和2年度	波多野 恭弘	大阪大学・理学研究科・ 教授	4
計		平成28年度 ～ 令和2年度			
計		平成28年度 ～ 令和2年度			
総括班・総括班以外の計画研究 計 8 件 (廃止を含む)					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

2 公募研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
A01 公	17H05414 発生間隔及び振幅分布に基づく スロー地震数理モデル構築	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	竹尾 明子	東京大学・地震研究所・ 助教	1
A02 公	17H05411 海底水圧連続観測に基づく 2011 年東北沖地震震源域のスロース リップイベント活動	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	太田 雄策	東北大学・理学研究科・准 教授	1
A02 公	17H05410 群発地震に伴う内陸スロー地震 の検出	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	大園 真子	北海道大学・大学院理学研 究院・地震火山研究観測セ ンター・講師	1
A02 公	17H05418 GNSS データを用いた SSE のグ ローバル探索	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	西村 卓也	京都大学・防災研究所・准 教授	1
A02 公	17H05422 西南日本の海陸地殻変動場の空 間勾配解析に基づくプレート間 固着の時空間変化の検出	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	飯沼 卓史	国立研究開発法人海洋研 究開発機構・地震津波海域 観測研究開発センター・研 究員	1
B01 公	17H05416 プレート間カップリングと流体 の 3 次元分布の解明ーヒクラン ギ沈み込み帯での検証	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	小川 康雄	東京工業大学・理学院火山 流体研究センター・教授	1
B02 公	17H05413 沈み込み帯地震発生域上限付近 の多様な断層運動に関する実験 的研究	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	金川 久一	千葉大学・理学研究院・ 教授	1
B02 公	17H05423 岩石変形実験から考察する珪質 泥岩の続成作用と超低周波地震 発生域との関連	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	岡崎 啓史	国立研究開発法人海洋研 究開発機構・高知コア研究 所・研究員	1
C01 公	17H05419 沈み込む堆積物における間隙流 体圧の時空間変化の解明	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	森重 学	国立研究開発法人海洋研 究開発機構・数理学・先 端技術研究分野・ポストド クトラル研究員	1
C02 公	17H05417 スロー地震に伴う微動を実験室 で聴く	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	隅田 育郎	金沢大学・理工研究域・ 准教授	1
C02 公	17H05420 多時間スケールの競合する非線 形応答：雪崩的な崩壊現象	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	大槻 道夫	島根大学・総合理工学研究 科・講師	1

C02 公	17H05421 スロー地震および通常の地震と 滑り摩擦、地震モデルとの関係の 理論的数値的研究	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	松川 宏	青山学院大学・理工学部・ 教授	1
B02 公	19H04621 深部スロー地震域の石英脈形成 過程の解明	令和元年度 ～ 令和 2 年度	山口 飛鳥	東京大学・大気海洋研究 所・准教授	1
A01 公	19H04623 観測と解析から探る火山型スロ ー地震	令和元年度 ～ 令和 2 年度	麻生 尚文	東京工業大学・助教	1
C02 公	19H04625 粘弾性体中で起き得る地震の最大 サイズの実測と地震波形の観 察：モデル実験と理論	令和元年度 ～ 令和 2 年度	並木 敦子	広島大学・総合科学研究 科・准教授	1
B02 公	19H04628 塑性変形からの断層の自発的不 安定化に関する実験的研究	令和元年度 ～ 令和 2 年度	高橋 美紀	国立研究開発法人産業技 術総合研究所・研究員	1
B01 公	19H04629 稠密構造探査によるプレート境 界浅部の断層構造・流体分布とス ロー地震活動の関係解明	令和元年度 ～ 令和 2 年度	新井 隆太	国立研究開発法人海洋研 究開発機構・研究員	1
B02 公	19H04630 深部スロー地震発生域原位置温 度圧力間隙水圧を再現する岩石 変形実験への挑戦	令和元年度 ～ 令和 2 年度	岡崎 啓史	国立研究開発法人海洋研 究開発機構・研究員	1
A02, A01, B02 公	19H04620 微動カタログ・GNSSデータ・ 地質調査に基づく西南日本のス ロー地震発生場の解明	令和元年度 ～ 令和 2 年度	加納 将行	東北大学・理学研究科・助 教	1
C01 公	19H04622 スロー地震の一般的な物理モデ ル構築と露頭からの地質学的制 約	令和元年度 ～ 令和 2 年度	安藤 亮輔	東京大学・大学院理学系研 究科・准教授	1
B02 公	19H04624 マントルウェッジ蛇紋岩の準脆 性流動と深部スロー地震の関連 性	令和元年度 ～ 令和 2 年度	平内 健一	静岡大学・理学部・講師	1
A01 公	19H04626 3次元不均質構造を考慮した南 海トラフの浅部超低周波地震の 活動様式の網羅的把握	令和元年度 ～ 令和 2 年度	武村 俊介	東京大学・地震研究所・ 助教	1
B01 公	19H04627 スラブ内地震とゆっくりすべり との関係	令和元年度 ～ 令和 2 年度	北 佐枝子	国立研究開発法人建築研 究所・主任研究員	1

C01 公	19H04631 媒質の三次元不均質性を考慮した数値的にロバストな長期的SSEデータ同化	令和元年度 ～ 令和2年度	縣 亮一郎	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究員	1
B01 公	19H04632 浅部スロー地震に伴う流体挙動の解明	令和元年度 ～ 令和2年度	利根川 貴志	国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究員	1
公募研究 計 25 件 (廃止を含む)					

[1] 総：総括班、国：国際活動支援班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

研究領域全体に係る事項

3 交付決定額

年度	合計	直接経費	間接経費
平成 28 年度	292,110,000 円	224,700,000 円	67,410,000 円
平成 29 年度	278,070,000 円	213,900,000 円	64,170,000 円
平成 30 年度	278,070,000 円	213,900,000 円	64,170,000 円
令和元年度	267,930,000 円	206,100,000 円	61,830,000 円
令和 2 年度	275,860,000 円	212,200,000 円	63,660,000 円
合計	1,393,040,000 円	1,070,800,000 円	321,240,000 円

4 研究領域の目的及び概要

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時の領域計画書を基に、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか、研究の学術的背景や領域設定期間終了後に期待される成果等を明確にすること。

1. 本研究領域の研究目的及び全体構想

「スロー地震」が発見され始めてまだ20年余り。本領域は、いまだ謎に満ち溢れているスロー地震の発生様式、発生環境、発生原理を理解することを目的とする。理解の質を高めるため、本領域では従来の地球物理学（地震学、測地学）だけでなく、地質学、非平衡物理学等との新たな異分野融合を図り、最終的には、「低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的な理解」に基づいて地震研究の再構築を目指すまでを全体構想とする。

2. 研究の学術的背景

20世紀末から日本の最先端の地殻変動観測網、地震観測網によって、次々と奇妙な現象が見つかった。1999年にプレート境界のゆっくりとしたすべりである「スロースリップイベント (SSE)」が、2002年に非常に微弱な地震波源である「微動」が発見された。これらの現象はその後も頻繁に発生し、その発生源は過去の巨大地震の震源域を取り囲んでいる。その後、SSEや微動は、世界各地（カナダ、米国、メキシコ、コスタリカ、エクアドル、ペルー、チリ、ニュージーランド、台湾など）で相次いで発見された。SSEと微動の中間的サイズの現象「超低周波地震」と合わせて、これらすべての現象を「スロー地震」と呼ぶ。スロー地震は普通の地震同様プレート境界のすべり運動であるが、そのスケール法則は普通の地震とかなり異なる。一方、2011年東日本大震災を引き起こした東北沖地震は、あれほどの巨大地震を想定できていなかった地震学の未熟さを露呈させ、地震研究者たちは、地震発生の物理プロセスを十分に理解できていなかったことを痛感させられた。その理解できていない大きな要因がスロー地震なのであろう。巨大地震発生域の周辺でスロー地震が頻発し、地震発生場を絶えず変え続けている。ある意味で普通の地震、つまり高速のすべりを準備しているのは様々なタイプのスロー地震なのである。つまり、低速変形を解明することにより、最終的に、高速すべりまで含めた地震現象を統一的に理解し、地震研究そのものの再構築を目指すことまでが、本研究領域の全体構想である。

本研究領域の主要メンバーは、スロー地震研究の世界的第一人者である。領域代表者小原は微動の発見者、計画研究代表者廣瀬はSSEの発見者、計画研究代表者井出はスロー地震の物理的理解で重要な貢献をしてきた。本研究領域には、その他多くのスロー地震研究のエキスパートを含む。しかし我々領域メンバーは、地震研究の再構築が従来の地球物理学のアプローチのみで可能だとは考えない。スロー地震研究も「発見の時代」は過ぎ、「理解の時代」を迎えつつある今、従来のアプローチのみでは限界が近い。他方、近年の海洋底掘削や陸上付加体研究によって地質学的にスロー地震を理解することが現実的になった。また非平衡物理学・非線形動力学の一分野として普通の地震とスロー地震の関係が注目されている。これらの分野間の交流はこれまで十分だったとは言えず、その理由は主に交流の枠組みがなかったためである。本研究領域は、スロー地震というターゲットに地質学から非平衡物理学までの異分野を結びつける枠組みを提供し、スロー地震に関するより徹底した理解をもとに、地震研究の再構築を目指すものである。

3. どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか

自然界に起きるスロー地震を観察するための基礎データは、「地震観測」、および地殻変動、重力などの「測地学的観測」からもたらされる。そしてこれらのデータを解釈するためには「地震発生科学」や「テクトニクス」の知識が必要となる。また発生場を理解するために地殻から上部マントル程度の「地球内部構造」や「地球内部物性」の知見も欠かせない。これらのキーワードで構成される固体地球惑星物理学が本研究の中心軸となる。地球内部変動の理解のためには、地球内部の物質に関する情報が不可欠である。これらは地質学、岩石鉱物学的なアプローチによってもたらされることが多い。本研究領域においては、特にスロー地震の痕跡が多く観察される「付加体」や「活断層」における「構造地質学」的な研究が重要となる。一方、スロー地震を発生させるのは地下での岩石や鉱物の温度圧力変化に伴う構造変化だと考えられている。これらの情報は「地殻・マントル物質」および「変成岩」の岩石鉱物学からもたらされる。

スロー地震は地球内部に起きる現象であり、本研究領域は固体地球惑星科学の諸学問分野からなるが、対象となる現象と場だけに焦点を絞ることが、最良の道とは限らない。現象を俯瞰的にとらえ、数理物理の本質に立ち戻って考えることも必要である。そのために本研究領域では分科の異なる物理学の「非平衡物理学・非線形動力学」や、「ソフトマターの物理」に関連する分野とも連携融合をはかる。しかしながら、これらの学問分野は、固有の伝統やものの考え方を有しており、これまでもある程度の交流はあるものの、とても融合といえる状態にはない。そこでスロー地震という新たに理解すべき現象の周辺に、新たな分野融合状態を作り出すことが本研究領域の目指すところである。この分野融合によってスロー地震の理解が進むことはもちろんのこと、スロー地震についての知見をそれぞれの分野で別の大きなテーマへの足掛かりにすることも期待している。例えば地質学においては日本列島形成史へ、物理学からの応用として新材料開発につながる可能性がある。そして究極的には、本研究によるスロー地震の理解が、地震研究を新たなステージに導くことを狙っている。近年の地震に関する研究では、より防災減災に焦点が当たるようになり、分野間融合を目指すような基礎研究へのサポートは十分でない。多様なバックグラウンドの研究者が、多角的に現象を捉えることが重要であり、そのための交流の枠組みを整備するのが本研究である。本研究領域は、地球物理学、地質学、物理学等の様々な分野の研究者により、スロー地震という現象を分野融合的に理解し、地震の理解における格段の発展・飛躍的な展開を目指すものである。つまり、スロー地震を解明するために本研究領域において形成されるこれらの多分野融合は、地震研究の再構築ならびに各分野に対してこれまでにない革新的・創造的な学術研究の発展に繋がること期待される。

4. 領域設定期間終了後に期待される成果

本研究領域では大小の研究集会を通じて、これまで独立性の高かった地球物理学、地質学、物理学の研究者間で、スロー地震というひとつの現象について多角的な議論が行われる。分野で異なる専門用語や概念の共有を通じて、一つの現象からより普遍的な地震現象の理解のための共通のプラットフォームが出来上がる。このプラットフォームを持つ研究者集団は、今後我が国の地震に関わる研究や政策立案に多角的な視点を提供する。スロー地震は日本中で頻繁に起きており、また普通の地震に比べると予測がしやすい。ある意味、地震現象の予測可能性のフロンティアを示す。この現象を良く把握・理解し、わかりやすく説明することで、一般的な地震現象の予測の困難さと可能性を広く広報し、不確かな情報や疑似科学と距離を保ち、正しく地震を恐れる姿勢を醸成するために役立つ。国は2019年より、それまでの地震予知を前提とした東海地震に関する防災体制から南海トラフ巨大地震の発生可能性に関する臨時情報を発出する体制に転換した。その臨時情報発出の対象としてスロー地震が加えられたのは、本研究領域の成果が反映されたものと言えるが、今後さらに本研究領域で得られたスロー地震に対する理解を深めることにより、臨時情報発出基準が適切に設定されるなど、国民の安心・安全に直結する社会実装が進むことが期待される。一方、本研究領域の大きな柱の一つは国際的なネットワークの構築・強化である。現在すでに世界トップレベルにある我が国のスロー地震研究をさらにレベルアップすることで、我が国がリーダーシップを発揮しつつ、類似現象の研究が進む諸外国との共同研究を進めることができる。本研究領域で構築したネットワークは、今後各国の地震防災政策へ活用することができる。これは日本のなしうる国際貢献の一つの形である。

5 審査結果の所見及び中間評価結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況

研究領域全体を通じ、審査結果の所見及び中間評価結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該指摘及びその対応状況等について、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

(審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

(留意事項)「非平衡物理学や地質学などの異分野の研究者との共同研究を推進するに当たっては、より深く実質的に連携するための工夫や仕組み作りが必要である」。

(対応状況) 異分野研究者との連携を深め共同研究を推進するため、以下の取り組みを行ってきた。

(1) 物理班研究会やスロー地震カフェを通じた異分野間共同研究マッチング

物理班では、班の研究会に毎回必ず他班メンバーを参加させ、地震学・測地学・地質学など各専門分野におけるスロー地震研究の進展に関するレビュー的講演を設けた。また、他分野研究者が物理学的アプローチと物理班での研究成果を理解するための機会として、非専門家向けの物理班交流セミナーを開催し、異分野間の相互理解を深めるとともに、講演後の議論の中で異分野間共同研究のマッチングを公開形式で行なった。また、総括班主催の「スロー地震カフェ」は、ざっくばらんな雰囲気の中で最新研究に関する相互理解と情報交換を行う企画で、全26回に延べ596名が参加し、領域全体を対象としつつ物理班の出席をマストとし、気軽な雑談の中から新たな異分野共同研究の萌芽の機会として有効に機能した。

(2) 合宿形式の地質巡検

もう一つの異分野である地質学を主軸として領域全体の連携を図ることを目的とし、地質班と物理班が主催し、他班メンバーも含めた地質巡検を2度(徳島県、沖縄県)開催した。さらに、年次国際研究集会(2017年松山、2018年福岡)や海外押しかけワークショップ(2018年ニュージーランド)でも、領域全体で地質巡検を行なった。地質班の案内のもと低速変形によって生じた断層岩などを観察し、多くの参加者にとって机上の実験や数理モデリングでは得られない有意義な経験を通して、異分野融合による共同研究の萌芽の場を提供した。例えば、「パターン形成の動力学」という観点から両者の接点を見いだせることが明らかになり、実際にこの観点での共同研究が粉体剪断帯におけるパターン形成に関して地質班と物理班の間で行われるなど、8件の分野融合共同研究の契機となった。また、これらの巡検を契機に地質班と物理班の研究者が放送大学の講師を担当することになり、一般市民に対する教育活動に発展した。

(中間評価結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況)

(所見の指摘事項) 異分野研究者との共同研究推進のための仕組みづくりについては、(中略)、異分野融合研究の方針、具体的な共同研究の枠組みなどが不明瞭であり、最終目標に向けた研究計画をあらためて検討することが望まれる。

【留意事項】(研究領域終了年度の翌年度に実施する事後評価において、その対応状況を確認するもの)

・本新学術領域研究の特徴は、非平衡物理学を新たな切り口としてスロー地震の統一的理解に取り組む点にあるが、個々に成果は出ているものの、現時点では研究領域全体の具体的な成果が見え難く、研究成果にややインパクトが欠けている。統一的な理解には、発生環境の不均質性も考慮した定量的な把握が重要であり、異分野融合研究による地質学的な情報等も加味したモデル化と理論構築が必要と考えられる。今後の推進方策をあらためて検討することが望まれる。

公募研究と計画研究の連携、共同研究の取組みについて、評価報告書からは読み取れないとの意見があった。今後、共同研究を増やすとともに、共同研究の実績を評価報告書に記載していただきたい。

【参考意見】(研究実施に当たって参考とするもの)

・社会的関心の高い巨大地震との関連性や予測の可能性も考慮して研究を推進してほしい。
・国際的なネットワークの構築・強化に向けた活動は評価できるが、「スロー地震学」が国際的な学術コミュニティの中で、実際どの程度のインパクトを持って認知されているのかが読み取り難い。

(対応状況)

(1) 異分野融合研究の方針、具体的な共同研究の枠組み、最終目標に向けた研究計画

異分野融合研究における重要テーマを総括班がトップダウンで設定するほか、公募研究を計画研究間

の分野融合を促進するものと位置づけ、そのための体制強化を図った。さらに、若手研究者による自主的な分野連携企画の支援を通じて、ボトムアップの共同研究立案を促すなど、分野間連携に基づくスロー地震の理解の深化という最終目標に向け、多様な成果の創出を可能とする体制で研究計画を進めた。

(2) 研究領域全体としての具体的な成果

本領域全体としての具体的な成果としては、以下の3点に集約される。

①**スロー地震の基本的理解の達成** スロー地震は、微動帯域からスロースリップ帯域まで広がる「超広帯域現象」であり、その発生には「不均質」及び「水」が重要な役割を果たす、という基本的理解に達した。これは、海陸における観測網の展開や解析手法の高度化によって、これまで検出が困難であった帯域でスロー地震の発見に成功したこと、付加体・変成岩露頭の地質学的観察による「レオロジー不均質性」及び「水がもたらす変形」に基づいて、非平衡物理学的モデルによるスローな現象の再現や、スロー地震発生様式の系統的遷移性を説明しうる地球物理学的モデル化に成功したこと、さらに、海陸における地震学および電磁気学的構造探査や地質学的調査・実験により、スロー地震発生域における「水」の存在を明らかにしたことなど、本領域のすべての計画研究による成果を総合して得られた成果である。

②**国際研究コミュニティを牽引** 2度にわたる海外押しかけワークショップ、毎年の国際研究集会、国際学会におけるスロー地震特別セッション、スロー地震データベースの構築・普及等を通じて、スロー地震研究における国際的リーダーシップをさらに強化し、スロー地震研究の国際的発展に貢献した。特に、ニュージーランドでのワークショップを契機として掘削科学、海底観測等に基づく国際共同研究が加速した。また、米国地質学会ではスロー地震に特化した会議開催が決定しており、本領域の地球物理学と地質学との融合研究の成果が、国際研究コミュニティにおいて高く認知されていることを示した。

③**巨大地震との関連性の理解と社会的貢献** スロー地震に基づく巨大地震の発生予測の可能性は、本領域の重要なテーマの一つであり、2011年東北地震大すべり域と相補的な東北沖スロー地震の発見や、深部スロー地震に同期した固着域のはがれの発見、スロー地震による固着域に対する応力載荷、スロー地震発生時における摩擦特性の変化による高速破壊促進の可能性など、スロー地震と巨大地震との関連性について重要な研究成果を創出した。国は2019年より南海トラフ巨大地震の発生可能性に関する臨時情報の評価項目にスロー地震を加えたが、これは本領域の成果に基づく防災行政への貢献である。

(3) 発生環境の不均質性も考慮した定量的な把握

スロー地震の活動度とその発生場における地震波速度構造不均質性との定量的な関係性を解明し、摩擦特性や有効圧の不均質を与えた数値シミュレーションによりスロー地震サイクルの再現に成功するなど、スロー地震発生環境の不均質性も考慮したスロー地震発生様式の定量的理解が進んだ。

(4) 異分野融合研究による地質学的な情報等も加味したモデル化と理論構築

非平衡物理学・地質学・地震学などの異分野融合研究として、断層露頭の地質学的な観察結果を取り入れたモデル化に関するいくつかの重要な成果が得られた。まず、脆性延性不均質な断層帯構造と粘性の温度依存性を考慮したモデル化により、スロー地震発生様式の系統的遷移性の説明が可能となった。また、地質露頭で観察されるクラックシールの形成モデルから、過去のスロー地震発生履歴解明の可能性を示した。さらに、地質学的観察で明らかな断層の不均質性（凹凸構造）を力学的にモデル化し、不均質性が強いほどスロー地震が発生しやすいことを定量的に確立した。そこでの断層運動の加速挙動は、大地震前に先行するスロー地震の挙動とも酷似することを発見し、この傾向はゲルを用いたアナログ摩擦実験でも確認できた。この性質は、ブレーキパッドや木材接合部などの材料においても不均質性を意図的に導入・制御することによって望みの特性を得る、工学的な応用研究にまで発展しつつある。

(5) 公募研究と計画研究の連携、共同研究の取組み、共同研究の実績

中間評価以降の第二期の公募研究は、特に、計画研究間の異分野融合を意識した研究テーマを推奨し、実際に共同研究を円滑に実施できるよう、採択された公募研究代表者を複数の計画研究に関わるような体制を構築した。その結果として、各計画研究で創出された成果をベースとして新たな異分野融合の成果が創出された。特に、地球物理学的観測結果と地質学的観察結果を踏まえた物理学的モデリングは、本領域の全研究分野を網羅する分野融合による共同研究の成果である。共同研究の実績は、異なる計画研究による共同研究が170件、公募研究と計画研究による共同研究が65件である。

6 研究目的の達成度及び主な成果

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、(2) 本研究領域により得られた成果について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。(1)は研究項目ごと、(2)は研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で記載すること。なお、本研究領域内の共同研究等による成果の場合はその旨を明確にすること。

※公募研究による成果については、「公」を明記している。

1. 研究項目 A01 : 地震観測

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

スロー地震の全体像を理解することを目的とし、浅部スロー地震、深部スロー地震、小繰り返し地震を対象として、海陸に展開された機動観測のデータも加え、スロー地震を構成する各現象の発生様式や相互作用の解明を進めた。その結果、スロー地震の系統的な描像に対する様々な多様性や不均質性、相互作用などが明確となり、発生環境との比較やモデル化に関する研究の進展に大きく貢献した。

(2) 得られた成果

本領域の C01 や A02 の成果として得られたスロー地震の広帯域性、浅部・深部スロー地震の共通性、といった系統的描像に基づき、本研究項目ではスロー地震の詳細像としての多様性を明らかにした。

(2) - 1. スロー地震の不均質性

深部スロー地震は、同一の現象が特定の深さで走向方向に広がる中でセグメントを形成し、各セグメントはパッチ強度分布等が異なる (Kano et al., 2018) などの「弱い不均質性」で特徴づけられることが分かった。一方、東北沖の日本海溝付近で新たなスロー地震を発見し (Tanaka et al., 2019)、巨大地震大すべり域との棲み分けを見出した (Baba et al., 2020)。琉球海溝でも VLFE は SSE や通常の地震と棲み分け (Nakamura, 2017)。南海トラフ近傍でもスロー地震は固着域と安定すべり域との遷移領域に発生し (公 : Takemura et al., 2019)、走向方向に様々なすべり現象が棲み分ける (公 : Takemura et al., 2020) ことから、浅部スロー地震は深部とは異なり、「強い不均質性」で特徴づけられることが分かった。

(2) - 2. スロー地震の移動様式

南海トラフ西方域では、深部及び浅部スロー地震が隣接する小繰り返し地震域の準定常すべり変化と相互作用しながら、それぞれ異なる速度で北東方向に移動し、固着域に対して応力載荷する可能性を示した (Uchida et al., 2020)。深部微動には既知の低速度・長距離移動に加えて高速度・短距離移動も存在し、いずれも拡散的移動様式を示す (Kato and Nakagawa, 2020)。日向灘の浅部微動は、異なるエピソードでも低速度・長距離移動や高速逆伝播等の移動様式や活動境界が共通あるいは変化するなど、活動様式は多様であることが分かった (Yamashita et al.)。

(2) - 3. スロー地震の相互作用

南西諸島の VLFE は地域や季節に依存する潮汐応答性を有し、大気・海底圧力の影響の可能性を示す (Nakamura & Kakazu, 2017) とともに、通常の地震と一連の時空間分布を有し、SSE の存在を示唆する (Asano)。豊後水道では、長期的 SSE の規模に応じて隣接する深部 VLFE 活動が活発化する (Baba et al., 2018)。VLFE 活動の発生間隔は SSE 期間中に短くなり、特にすべりの大きい期間に VLFE が断続的に発生する (公 : Takeo)。遠地地震表面波による微動の動的誘発は良く知られているが、入力表面波と同様の周期をもつ VLFE の動的誘発の検出に初めて成功した (Miyazawa, 2019)。

(2) - 4. スロー地震の巨大地震との関連性

本領域開始時にスロー地震の巨大地震との関係性を整理し (Obara and Kato, 2016)、本領域での成果も踏まえ、領域終了時にスロー地震から巨大地震発生に至るモデルを公表した (Kato and Ben-Zion, 2021)。

2. 研究項目 A02 : 測地観測

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

スロー地震の大局的な活動パターンやプレート間のすべり様式を規定していると考えられる SSE の活動様式を測地学的な観測手段によって捉え、地域ごとのプレート間のすべり特性、それを規定している地球科学的要因、隣接地域との相互作用、SSE 発生と地殻流体との関連性の解明を進めた。その結果、それらについての理解が大きく進展した。

(2) 得られた成果

(2) - 1. 地域ごとのプレート間のすべり特性

西南日本ではプレート境界深部で微動と同期した 1 週間程度継続する SSE が繰り返し発生している。これらの SSE による傾斜オフセットデータから、四国における過去 18 年間の計 61 イベントのすべり分布を求めることに成功した。2012 年以降より大規模の SSE が増える傾向を見出すなど、長期にわたる活動様式を明らかにした(Hirose & Kimura, 2020)。微動活動のみられる期間の GNSS 変位を加算することでノイズに隠れた有意な変位シグナルを抽出した(Fujita et al., 2019)。これは、より小さい SSE が微動とともに発生していることを示している。南西諸島最西部・八重山諸島での GNSS 観測データから 5 回の SSE の繰り返しによる地殻変動を捉えた。すべり分布は全 SSE で似た分布を示したが、その時間発展はイベントによって異なることが分かった。これは断層面の性質が時間的に変化していることを示唆する(Kano et al., 2018)。長期の GNSS 記録に基づき、継続時間 3 年を超える SSE が関東下のプレート境界で発生していることを見出した(Tanaka and Yabe, 2017)。同じく長期の GNSS 記録から継続時間の比較的短い SSE を系統的に検出し、関東周辺の日本海溝沿いでは SSE による累積すべり量分布が深さ方向にバイモーダルな分布を示した(公:Nishimura, 2021)。

(2) - 2. すべり特性を規定する地球科学的要因

長期の GNSS データに基づき、日向灘から四国における 1 年前後継続する SSE を系統的に検出することに成功し、日向灘～豊後水道～四国西部における約 300 km の領域を 3 年から 5 年程度かけて SSE が移動する様子を見出した。これらの SSE は浅部固着域のすぐ深部では活動度が低いのに対し、浅部で固着が弱いとされる場所の深部では活動度が高いという相関があることが分かった(Takagi et al., 2019)。このように SSE の発生場所は巨大地震震源域と密接に関係している可能性が示唆された。

(2) - 3. 隣接地域との相互作用

上述の傾斜変化に基づく SSE の研究において、約 18 年の解析期間の後半で、より大規模な SSE が増える傾向を見出したが、これは主として SSE のすべり面積の増大を反映している。またこれらの SSE の活発化する時期は上述の長期的な SSE(Takagi et al., 2019)の発生時期とも対応することが分かった(Hirose & Kimura, 2020)。これは隣接地域でのすべり挙動が互いに相互作用を及ぼしていることを示唆する。また、微動が活発化したタイミングで時期の異なる GNSS データをスタックすることで有意な変位分布を得、それに基づきすべり分布を推定した結果、微動発生域でのすべりとともにより浅部の固着域の一部にわずかなすべりが生じていることが分かった(公:Kano et al., 2019; 公:Kano & Kato, 2020)。深部のスロー地震が巨大地震発生域に影響を及ぼしている証拠として重要な事例である。

(2) - 4. SSE 発生と地殻流体との関連性

東海地域における 20 年以上にわたる絶対重力計による観測により、SSE 発生に関連すると考えられる重力の時間変化を見出した。その変化は、C02 班と共同で開発した間隙弾性体モデルに基づく、流体移動による重力変化で説明可能なことが示された (Tanaka et al., 2018)。

3. 研究項目 B01 : 地震・電磁気構造

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

本計画研究の目的は、豊後水道周辺を主たる対象領域として、海域から陸域まで、地震学的・電磁気学的なプレートの沈み込み構造を明らかにし、多様な断層すべりの発生環境の理解に貢献することである。計画通り実施した調査・観測の結果、地震学および電磁気学的に互いに整合的な構造が得られ、構造から示唆される流体の分布とスロー地震発生領域との間に良い相関を確認した。さらに公募研究も加え、西南日本全体のスロー地震活動と沈み込み構造との関係や、ニュージーランド北島沖ヒ克蘭ギ沈み込み帯における 3 次元的なプレート沈み込み構造を明らかにした。さらに、地震学的・電磁気学的構造の時間変化抽出に向けた手法開発も進め、当初の計画以上に進んだ結果を得ることができたと言える。

(2) 得られた成果

(2) - 1. 地震学的構造

2020 年度に豊後水道の沖合で実施した人工震源地震波構造調査で得られた構造断面上に、九州・パラオ海嶺の沈み込み構造を高解像度で確認することができ、浅部微動の活動範囲が海嶺の頂上から陸側斜面上に分布している可能性を示した (Miura et al.; Arai et al.)。2019 年度に四国西部の陸域で実施した構造調査と既存データの統合解析により、沈み込んだフィリピン海プレート上面に、深部微動発生域に対応した豊富な流体を示唆する明瞭な反射帯を確認した (Kurashimo et al.)。また、A01 班で取得された地震観測データも加えたレーザー関数解析によってフィリピン海プレートの沈み込み構造を面的に求め、四国東部では沈み込んだ海山が微動活動域を規定していることを明らかにした (Shiomi et al.)。

西南日本においてプレート境界直上の構造不均質と低周波地震の活動に良い相関がみられること、関東下ではプレート境界のスローリップに伴って上盤に流体が放出されることを明らかにし、スロー地震の発生には流体が関与していることを強く示唆する結果を得た (Nakajima et al., 2018)。

紀伊半島下では、プレート内地震とスロー地震の時空間分布からプレート境界への流体の供給過程を議論する (公: Kita et al.) とともに、その沖合でも、地震波干渉法解析からスロー地震とプレート境界周辺構造の時空間変化に良い対応関係を確認した (公: Tonegawa et al.)。また、ヒ克蘭ギ沈み込み帯では、スロー地震発生領域における詳細な 3 次元構造を明らかにした (公: Arai et al., 2020)。

(2) - 2. 電磁気学的構造

海域では、豊後水道沖にて海底電位磁力計による観測を進めた。最新の 3 次元比抵抗構造インバージョン解析手法を用いて構造推定を行い、通常地震の発生域にあたるプレート境界で高比抵抗体が、スロー地震発生領域では間隙流体の分布を示唆する低比抵抗体が存在する可能性を示した (Ichihara et al.)。

陸域では、豊後水道を囲む領域でネットワーク MT 長基線電場観測網の整備を進めるとともに、従来の MT 観測データのコンパイルを行い、構造不均質解明のための基礎データを構築した。このデータの 3 次元比抵抗構造インバージョン解析から、プレート境界周辺の流体分布について地震波減衰構造ともよい相関を持つ構造を推定した。また、プレート境界深度まで解像度をもつことが確かめられ、比抵抗構造の時空間変化検出の可能性を示した (Uyeshima et al.)。国際共同研究によってヒ克蘭ギ沈み込み帯に沿ったスロー地震発生域周辺の比抵抗構造も明らかにした (公: Heise et al., 2017)。

4. 研究項目 B02 : 地質

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

スロー地震の地質学的描像を導き出すとともに、低速変形時の摩擦・水理特性を明らかにすることを目的として、(A) スロー地震発生深度で形成された付加体・変成岩の地質調査・試料分析、(B) 地質・模擬試料を用いた摩擦・透水実験を実施した。その結果、浅部スロー地震と微動を説明しうる破壊と変形、浅部スロー地震と深部スロー地震発生を説明しうる摩擦特性や変形挙動を明らかにし、スロー地震の実像と発生メカニズムに関する理解が大きく進展した。

(2) 得られた成果

(2) - 1. スロー地震の地質学的描像

・**浅部スロー地震**: 地震発生帯上限付近で発生する浅部スロー地震は、メランジュブロック縁辺に沿った破碎とメランジュマトリックスにおける延性変形が静岩圧に近い間隙水圧下で起こることで説明しうることを示した (Phillips et al., 2020)。

・**深部スロー地震**: メランジュ中に濃集するクラックシール石英脈は、静岩圧に近い間隙水圧下で低角逆断層滑りが数年以内の間隔で発生したことを記録しており、A01 班で観測された低周波地震で構成される微動を説明しうることを示した (Ujiie et al., 2018)。また、A02 班との融合研究により、クラックシール石英脈が過去のスロー地震発生履歴を記録している可能性を示した (Nishiyama et al., 2021)。更に、このクラックシール石英脈をもたらす流体は、主に蛇紋岩化したマントルを起源とし、微動は深部からの流体流入によりもたらされた可能性を示した (Nishiyama et al., 2020)。スラブ内に作用する主応力の向きに応じてスラブ内の流体の流れやすさに空間的な違いが生じ、これがマントルウェッジコーナー付近で発生する微動やスローリップの空間分布を説明しうることを示した (Otsubo et al., 2019)。

(2) - 2. 低速変形時の摩擦・水理特性

・**スロー地震の発生メカニズム**: 浅部スロー地震を説明する摩擦挙動として、玄武岩ブロックにおける速度弱化的挙動と泥質マトリックスにおける速度強化のコンビネーションであることを示した (Phillips et al., 2020)。アンチゴライト蛇紋岩と石英を用いた高温高压岩石変形実験を行い、前者では、深部スロー地震発生域を含む広範囲の前弧マントルウェッジ条件下でアンチゴライトが準脆性変形を示すことを明らかにした (Hirauchi et al., 2020)。後者では、石英の粒間に存在する水が断層強度を低下させ、延性変形と水を含むクラック形成をもたらすことを明らかにし、含水量の違いが断層運動の多様性やプレートカップリングに大きな影響を与えていることを示した (Okazaki et al., 2021)。

・**蛇紋岩の物性と含水率**: 蛇紋岩に含まれる割れ目により地震波速度が低下し、 V_p/V_s 比が著しく上昇することを見出し、アウターライズ断層付近のマントルでは最大で 3wt% の含水率を持つことを明らかにした (Hatakeyama and Katayama, 2020)。

・**モンモリロナイトの摩擦特性**: 湿度の低下に応じてモンモリロナイトの摩擦係数が系統的に減少し、プ

プレート間での固着度の違いは粘土鉱物の存在に加え、水の存在状態にも依存することを示した (Tetsuka et al., 2018)。

・**岩塩の摩擦特性**：脆性—延性遷移領域において、岩塩はスロースティック・スリップ挙動を示し、剪断帯内部に結晶塑性変形が起こる領域が不均質に分布することで、破壊核形成距離が大きく、滑り速度が小さくなることを明らかにした (Hirauchi et al., 2020)。

5. 研究項目 C01：地球科学的モデル構築

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

本計画研究は地球科学的モデル化を通じたスロー地震の発生原理解明を目指し、(A)スロー地震諸現象の時間空間的な関連性の解明、(B)現実的プレート運動システムにおけるモデル化、(C)巨大地震を含むプレート運動システムの予測可能性の検討、について研究を行った。毎年 C01 独自の研究集会を行い、議論を活発に行った。また領域のスロー地震カタログ作成にも貢献した。

(A)ではスロー地震の広帯域性を明らかにし、現象間の関連性理解に貢献した。(B)では熱や水、複数断層などを取り入れた様々なモデルを開発した。(C)では特に実験研究が進展し、震源核の成長を把握するという成果を得た。また機械学習による予測可能性という、新たな研究の方向性についての手がかりも得た。これらの研究は 117 編の論文として学術誌に公表されている。

(2) 本研究領域により得られた(主な)成果

(2) - 1. 広帯域スロー地震の描像

2016 年紀伊半島沖の地震(M6.0)後にスロースリップ、超低周波地震、テクトニック微動が同期発生し、100 秒から数ヘルツまで連続的なシグナルを出していることを示した(Araki et al., 2017; Nakano et al., 2018; Kaneko et al., 2018; Ariyoshi et al., 2021)。この性質は超広帯域ブラウン運動スロー地震モデルで説明できる(Ide and Maury, 2018; Ide and Yabe, 2019)。同様のシグナルは深部スロー地震でも見られる(Ide, 2019; Masuda et al., 2020)ことから、スロー地震は超広帯域現象であることを示した。一方、東北沖の微動の発見(Nishikawa et al., 2019)によって普通の地震とスロー地震のすみわけという従来の考えが成り立たないことを示した。

(2) - 2. 現実的摩擦則によるスロー地震の理解

RSF 摩擦則を用いたモデル計算によってスロー地震の理解を進めた。単純な線断層モデルだけでスロー地震(および普通の地震)の様々な振る舞いを説明すること(Yabe and Ide, 2017; 2018)、一枚面でない断層では摩擦パラメータが一樣でも複雑なスロースリップが生じ得ること(Mitsui, 2018)等を示した。また余効すべり伝播速度と摩擦特性についての関係式を求めた(Ariyoshi et al. 2019)。また南海トラフの固着部分をより正確に推定する手法を開発した(公: Agata, 2020)。

(2) - 3. スロー地震と温度と水

西南日本(Ji and Yoshioka, 2017; Suenaga et al., 2019)、東北日本～関東(Ji et al., 2017; Suenaga et al., 2018)、カスカディア(Ji et al., 2017)、ヒクランギ(Suenaga et al., 2018)、チリ(Ji et al., 2019)において、温度構造モデリングを実施し、沈み込む海洋プレートの年齢や、脱水勾配の値によって、スロー地震の発生位置が変化することを明らかにした。また地表付近の水の荷重変化が地震活動(Mitsui and Yamada, 2017)や微動のサイズ頻度分布(Nakano and Yabe, 2021)をコントロールしている可能性を指摘した。

(2) - 4. プレスリップの実験的観察

メートル規模の岩石試料を持ちいた摩擦実験を実施し、プレスリップの 2 次元的な成長を観察することに成功した(Fukuyama et al., 2018)。また载荷速度が増すと震源核形成が起きないこと(Xu et al., 2018)、断層面の不均質性が増すとプレスリップが始まる位置の予測が困難になること(Yamashita et al., 2018)、極めて不均質な場合には前震の cascade-up から本震が発生すること(Yamashita et al., 2021)など多くの知見を得た。

(2) - 5. 巨大地震と予測可能性

2011 年東北沖地震後の余効変動がスローなべき乗減衰をしていたことから、余効変動が単純に余震を誘発するという概念が成り立たないことを示した(Morikami and Mitsui, 2020)。同現象に再帰型ニューラルネットワークを適用し、予測性の向上に成功した(Yamaga and Mitsui, 2019)。遠地実体波を用いた巨大地震の解析によって、逆破壊伝播のような破壊伝播や、間欠的な加速・減速を含む地震が存在することを明らかにした(Hicks et al., 2020; Okuwaki et al., 2020)。

6. 研究項目 C02 : 非平衡物理学

(1) 領域設定期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか

スロー地震は、沈み込み帯という複雑で不均質な非平衡環境下で発生する。そこで項目 C02 では、項目 B01 や B02 で解明した地質学的不均質構造に基づいて、「不均質な場が生み出す滑り現象の多様性」という物理的な観点からスロー地震の理解を目指した。その際、地質学的不均質性が生み出す現象をより普遍的な形で理解するため、「観測された不均質構造」のみならず「存在可能性のある不均質構造」にまで検討対象を広げ、不均質性に起因する多様な滑り様式をより一般的に理解することを目的とした。

研究期間中は、不均質構造を系統的に制御できるアナログ実験と数理モデルを用いて、様々な不均質構造における滑りの時空発展様式を整理することで、遅い滑りが加速し速い滑りへと遷移する現象の再現や、遅い滑りと速い滑りを分ける定量的条件を解明できた。これらの理解の異分野への応用として、木材接合部や靴底など様々な不均質材料の設計にもスロー地震研究の知見が生かせることが分かった。以上の点を鑑みれば当初計画以上の結果を得たと言える。

(2) 得られた成果

(2) - 1. 地質学的観察との融合と不均質性の評価

・**地質学的シナリオの力学的実証**：項目 B02 における地質学的観察からは、(脆性・延性) レオロジー不均質性がスロー地震の発生に寄与することが強く示唆されている。この発見に基づき、延性的な粘弾性中に脆性的な粉粒体を混入したアナログ試料による変形実験を行い、地質学的観察の直接検証を行った。岩石実験における挙動の再現でその妥当性を確認したのち、露頭でみられる流動・破壊パターンの再現に成功した (Otoguro & Sumino, 2021)。加えて、項目 B02 で提唱された化学反応を伴う岩石の剪断変形挙動も、不均質なレオロジーが生み出す時空パターンとして説明した。これらの実験を通じて、スロー地震の発生機構に関する地質学的シナリオを補強する力学的な証拠を提示できた。

・**地質学的不均質構造が生むスロー地震**：地質学的な凸凹構造が滑りに及ぼす影響については、グリーン関数に基づく直接シミュレーションの実装に成功した。局所的に始まった不安定な滑りが高速化せずにスロー地震として終わる様子を再現し、その結果を一般的な数式で表現した。同時に、高速化しつつ移動していくスロー地震の様子も再現し、巨大地震に先行するスロー地震の一つの特徴が再現できた (Ozawa et al. 2019)。加えて、凸凹のスケールが摩擦法則に与える影響について定量化を行い、室内実験スケールから断層スケールへの外挿を可能にする一つの道筋を示すことにも成功した。

・**不均質構造が生む多様な滑り様式**：摩擦強度の不均質性を制御した高分子ゲルの摩擦実験では、高速すべりに先行し発生する遅い滑りの時空間的挙動に関して、新しいクラスの現象 (パルス発振的な滑りの加速) を発見した。のみならず、滑りに伴う様々な動力学的挙動 (応力・ひずみ場、すべり量、弾性波放出) を、可視化技術を用いたその場観察により取得し、通常の地震とスロー地震との動的性質の差異を生み出すメカニズムを明らかにした (Yashiki et al., 2020)。

(2) - 2. 一般化の試み

・**一様系での遅い滑り**：地質学的不均質性に関する反対命題として、不均質性のない一様な系で自発的に出現する遅い滑りの時空パターンもモデル化・解析し、観測と比較したが、結果は否定的であった。このことはスロー地震にとって地質学的不均質性が不可欠であることを示唆する (Sumino et al. 2021)。

・**一般自然現象への応用**：項目 C02 の特徴である数理化・一般化のメリットとして、地震だけではなく、他の自然現象にも応用可能な結果も複数得られた。例えば、滑り速度と岩石空隙率の二変数で記述できる簡素な断層モデルの方程式系が、生態系の個体数変化を記述する有名な方程式系と同型であり、断層の滑りと個体数変動の安定性が共通の枠組で理解し得ることを示した (Suzuki, 2017)。

・**新たな融合研究の発展**：これらの力学系的モデル研究とは相補的に、複雑ネットワーク分野の概念を用いた新しい時系列解析手法を地震のマグニチュード時系列に応用する学際的な研究も生まれた。地震学分野ではマグニチュード時系列が無相関とする統計モデルが支配的で、それと矛盾する結果はこれまで知られていない。しかしこの新手法を用いることで、通常の地震もスロー地震 (微動) もマグニチュード時系列には相関のあることが結論された (Kundu et al. 2021)。マグニチュード時系列に潜む相関は大震災発生の予測とも関わるため、この発見には更なる展開が期待される。

7 研究発表の状況

研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で、本研究領域により得られた研究成果の発表の状況（主な雑誌論文、学会発表、書籍、産業財産権、ホームページ、主催シンポジウム、一般向けアウトリーチ活動等の状況。令和3年6月末までに掲載等が確定しているものに限る。）について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。なお、雑誌論文の記述に当たっては、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究代表者（発表当時、以下同様。）には二重下線、研究分担者には一重下線、corresponding author には左に*印を付すこと。

1. 主な雑誌論文（計画研究によるものは（計）、公募研究によるものは（公）、両者の共同研究によるものは（計・公）を記載）

総括班（査読有 1 篇）

（計・公） Development of a Slow Earthquake Database, *M. Kano, N. Aso, T. Matsuzawa, S. Ide, S. Annoura, R. Arai, S. Baba, M. Bostock, K. Chao, K. Heki, S. Itaba, Y. Ito, N. Kamaya, T. Maeda, J. Maury, M. Nakamura, T. Nishimura, K. Obana, K. Ohta, N. Poiata, B. Rousset, H. Sugioka, R. Takagi, T. Takahashi, A. Takeo, Y. Tu, N. Uchida, Y. Yamashita, and K. Obara, Seismological Research Letters, 2018, 89, 1566–1575, doi:10.1785/0220180021. 査読有

（1）研究項目 A01（査読有 74 篇、査読無 6 篇）

（計・公） Strength of tremor patches along deep transition zone of a megathrust, *M. Kano, A. Kato, R. Ando, and K. Obara, Scientific Reports, 2018, 8, 3655, doi:10.1038/s41598-018-22048-8. 査読有

（計） Activated seismicity by strain rate change in the Yaeyama region, south Ryukyu, *M. Nakamura, and A. Kinjo, Earth, Planets and Space, 2018, 70, 154, doi:10.1186/s40623-018-0929-y. 査読有

（計） Identifying the Recurrence Patterns of Nonvolcanic Tremors Using a 2-D Hidden Markov Model With Extra Zeros, *T. Wang, J. Zhuang, J. Buckby, K. Obara, and H. Tsuruoka, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2018, 123, 6802–6825, doi:10.1029/2017JB015360. 査読有

（計） Bayesian approach for detecting dynamically triggered very low-frequency earthquakes in the Nankai subduction zone and application to the 2016 M_w 5.9 off-Kii Peninsula earthquake, Japan, *M. Miyazawa, Geophysical Journal International, 2019, 217, 1123–1140, doi:10.1093/gji/ggz073. 査読有

（計・公） Comprehensive Detection of Very Low Frequency Earthquakes Off the Hokkaido and Tohoku Pacific Coasts, Northeastern Japan, *S. Baba, A. Takeo, K. Obara, T. Matsuzawa, and T. Maeda, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2019, 125, e2019JB017988, doi:10.1029/2019JB017988. 査読有

（計・公） Structural Characteristics of the Nankai Trough Shallow Plate Boundary Inferred From Shallow Very Low Frequency Earthquakes, *S. Takemura, T. Matsuzawa, A. Noda, T. Tonegawa, Y. Asano, T. Kimura, and K. Shiomi, Geophysical Research Letters, 2019, 46, 4192–4201, doi:10.1029/2019GL082448. 査読有

（計） Shallow Low-Frequency Tremor in the Northern Japan Trench Subduction Zone, *S. Tanaka, T. Matsuzawa, and Y. Asano, Geophysical Research Letters, 2019, 46, 5217–5224, doi:10.1029/2019GL082817. 査読有

（計） Migration of shallow and deep slow earthquakes toward the locked segment of the Nankai megathrust, *N. Uchida, R. Takagi, Y. Asano, and K. Obara, Earth and Planetary Science Letters, 2019, 531, 115986, doi:10.1016/j.epsl.2019.115986. 査読有

（計） Characteristic activities of slow earthquakes in Japan, *K. Obara, Proceedings of the Japan Academy, Series B, 2020, 96, 297–315, doi:10.2183/pjab.96.022. 査読有

（計） Stagnant forearc mantle wedge inferred from mapping of shear-wave anisotropy using S-net seafloor seismometers, *N. Uchida, J. Nakajima, K. Wang, R. Takagi, K. Yoshida, T. Nakayama, R. Hino, T. Okada, and Y. Asano, Nature Communications, 2020, 11, 5676, doi:10.1038/s41467-020-19541-y. 査読有

（2）研究項目 A02（査読有 29 篇、査読無 3 篇）

（計） Temporal gravity anomalies observed in the Tokai area and a possible relationship with slow slips, *Y. Tanaka, T. Suzuki, Y. Imanishi, S. Okubo, X. Zhang, M. Ando, A. Watanabe, M. Saka, C. Kato, S. Oomori, and Y. Hiraoka, Earth, Planets and Space, 2017, 70, 25, doi:10.1186/s40623-018-0797-5. 査読有

（計・公） Spatiotemporal Evolution of Recurrent Slow Slip Events Along the Southern Ryukyu Subduction Zone, Japan, From 2010 to 2013, *M. Kano, J. Fukuda, S. Miyazaki, and M. Nakamura, Journal of Geophysical Research: Solid Earth,

- 2018, 123, 7090–7107, doi:10.1029/2018JB016072. 査読有
- (公) Monitoring of the spatio-temporal change in the interplate coupling at northeastern Japan subduction zone based on the spatial gradients of surface velocity field, T. Iinuma, *Geophys J Int*, 2018, 213, 30–47, doi:10.1093/gji/ggx527. 査読有
- (計) Along-Strike Variation and Migration of Long-Term Slow Slip Events in the Western Nankai Subduction Zone, Japan, *R. Takagi, N. Uchida, and K. Obara, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2018, 213, 30–47, doi:10.1093/gji/ggx527. 査読有
- (計・公) Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough, *M. Kano, A. Kato, and K. Obara, *Scientific Reports*, 2019, 9, 1–8, doi:10.1038/s41598-019-45781-0. 査読有
- (計) Detection of small crustal deformation caused by slow slip events in southwest Japan using GNSS and tremor data, *M. Fujita, T. Nishimura, and S. Miyazaki, *Earth, Planets and Space*, 2019, 71, 96, doi:10.1186/s40623-019-1075-x. 査読有
- (計) Slip Distributions of Short-Term Slow Slip Events in Shikoku, Southwest Japan, From 2001 to 2019 Based on Tilt Change Measurements, *H. Hirose, and T. Kimura, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2020JB019601, doi:10.1029/2020JB019601. 査読有
- (3) 研究項目 B01 (査読有 56 篇、査読無 1 篇)**
- (計) Tremor activity inhibited by well-drained conditions above a megathrust, *J. Nakajima, and A. Hasegawa, *Nature Communications*, 2016, 7, 13863, doi:10.1038/ncomms13863. 査読有
- (計) Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip, *Nature Geoscience*, *J. Nakajima, and N. Uchida, *Nature Geoscience*, 2019, 1, doi:10.1038/s41561-018-0090-z. 査読有
- (計・公) Electrical resistivity imaging of the inter-plate coupling transition at the Hikurangi subduction margin, New Zealand, *W. Heise, Y. Ogawa, E.A. Bertrand, T.G. Caldwell, R. Yoshimura, H. Ichihara, S.L. Bennie, K. Seki, Z. Saito, Y. Matsunaga, A. Suzuki, T. Kishita, and Y. Kinoshita, *Earth and Planetary Science Letters*, 2019, 524, 115710, doi:10.1016/j.epsl.2019.115710. 査読有
- (計・公) Focal Mechanisms of Deep Low-Frequency Earthquakes Beneath Zao Volcano, Northeast Japan, and Relationship to the 2011 Tohoku Earthquake, *G. Oikawa, N. Aso, and J. Nakajima, *Geophysical Research Letters*, 2019, 46, 7361–7370, doi:10.1029/2019GL082577. 査読有
- (計・公) Three-Dimensional P Wave Velocity Structure of the Northern Hikurangi Margin From the NZ3D Experiment: Evidence for Fault-Bound Anisotropy, *R. Arai, S. Kodaira, S. Henrys, N. Bangs, K. Obana, G. Fujie, S. Miura, D. Barker, D. Bassett, R. Bell, K. Mochizuki, R. Kellett, V. Stucker, and B. Fry, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2020, 125, e2020JB020433, doi:https://doi.org/10.1029/2020JB020433. 査読有
- (計) The Role of Fluid-Related Heterogeneous Structures in Controlling the Fault Slip Behavior in the Slow-Earthquake Source Region Along the Nankai Subduction Zone, Southwest Japan, *E. Kurashimo, T. Iwasaki, N. Tsumura, and T. Iidaka, *Geophysical Research Letters*, 2020, 48, e2020GL089882, doi:https://doi.org/10.1029/2020GL089882. 査読有
- (計) Seismological evidence of a dehydration reaction in the subducting oceanic crust beneath western Shikoku in southwest Japan, *K. Shiomi, T. Takeda, and T. Ueno, *Geophys J Int*, 2020, doi:10.1093/gji/ggaa423. 査読有
- (公) Near-Field Body-Wave Extraction From Ambient Seafloor Noise in the Nankai Subduction Zone, *T. Tonegawa, T. Kimura, and E. Araki, *Front. Earth Sci.*, 2020, 8, doi:10.3389/feart.2020.610993. 査読有
- (4) 研究項目 B02 (査読有 139 篇、査読無 1 篇)**
- (計) An inhomogeneous across-slab conduit controlled by intraslab stress heterogeneity in the Nankai subduction zone, *M. Otsubo, A. Miyakawa, I. Katayama, and K. Okazaki, *Sci Rep*, 2018, 9, 1–6, doi:10.1038/s41598-018-38142-w. 査読有
- (計) An Explanation of Episodic Tremor and Slow Slip Constrained by Crack-Seal Veins and Viscous Shear in Subduction Mélange, *K. Ujiie, H. Saishu, Å. Fagereng, N. Nishiyama, M. Otsubo, H. Masuyama, and H. Kagi, *Geophysical Research Letters*, 2018, 45, 5371–5379, doi:10.1029/2018GL078374. 査読有
- (計) Effects of humidity and interlayer cations on the frictional strength of montmorillonite, H. Tetsuka, I. Katayama, H. Sakuma, and K. Tamura, *Earth, Planets and Space*, 2018, 70, 56, doi:10.1186/s40623-018-0829-1. 査読有
- (計) Frictional Strengths of Subduction Thrust Rocks in the Region of Shallow Slow Earthquakes, *N.J. Phillips, B. Belzer, M.E. French, C.D. Rowe, and K. Ujiie, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2020, 125, e2019JB018888, doi:10.1029/2019JB018888. 査読有
- (計) Evidence of Localized Failure Along Altered Basaltic Blocks in Tectonic Mélange at the Updip Limit of the

- Seismogenic Zone: Implications for the Shallow Slow Earthquake Source, *N.J. Phillips, G. Motohashi, K. Ujiie, and C.D. Rowe, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2020, 21, e2019GC008839, doi:10.1029/2019GC008839. 査読有
- (公) Rheology of the Fluid Oversaturated Fault Zones at the Brittle-Plastic Transition, *K.Okazaki, E. Burdette, and G. Hirth, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2021, 126, e2020JB020804, doi:https://doi.org/10.1029/2020JB020804. 査読有
- (計) Fluid overpressure in subduction plate boundary caused by mantle-derived fluids, *N. Nishiyama, H. Sumino, and K. Ujiie, *Earth and Planetary Science Letters*, 2020, 538, 116199, doi:10.1016/j.epsl.2020.116199. 査読有
- (計) Pore fluid effects on elastic wave velocities of serpentinite and implications for estimates of serpentinitization in oceanic lithosphere, *K. Hatakeyama, and I. Katayama, *Tectonophysics*, 2020, 775, 228309, doi:10.1016/j.tecto.2019.228309. 査読有
- (計) Semi-brittle deformation of antigorite serpentinite under forearc mantle wedge conditions, *Hirauchi, K., I. Katayama, and Y. Kouketsu, *Journal of Structural Geology*, 2020, 140, 104151, doi:10.1016/j.jsg.2020.104151. 査読有
- (公) Slow Stick-Slip Failure in Halite Gouge Caused by Brittle-Plastic Fault Heterogeneity, *Hirauchi, K., Y. Yoshida, Y. Yabe, and J. Muto, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2020, 21, e2020GC009165, doi:10.1029/2020GC009165. 査読有
- (計・公) Spatial changes in inclusion band spacing as an indicator of temporal changes in slow slip and tremor recurrence intervals, *N. Nishiyama, K. Ujiie, and M. Kano., *Earth Planets and Space*, 2021, 73:126. doi:10.1186/s40623-021-01448-7. 査読有

(5) 研究項目 C01 (査読有 117 篇、査読無 12 篇)

- (計) Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments, *E. Fukuyama, K. Tsuchida, H. Kawakata, F. Yamashita, K. Mizoguchi, and S. Xu, *Tectonophysics*, 2018, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.023. 査読有
- (計) Ordinary and Slow Earthquakes Reproduced in a Simple Continuum System With Stochastic Temporal Stress Fluctuations, *N. Aso, R. Ando, and S. Ide, *Geophysical Research Letters*, 2019, 46, doi:10.1029/2019GL085010. 査読有
- (計) Frequent observations of identical onsets of large and small earthquakes, *S. Ide, *Nature*, 2019, 573, 112–116, doi:10.1038/s41586-019-1508-5. 査読有
- (計) Event Size Distribution of Shallow Tectonic Tremor in the Nankai Trough, *M. Nakano, S. Yabe, H. Sugioka, M. Shinohara, and S. Ide, *Geophysical Research Letters*, 2019, 46, 5828–5836, doi:10.1029/2019GL083029. 査読有
- (計・公) The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories, * T. Nishikawa, T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, and S. Ide, *Science*, 2019, 365, 808–813, doi:10.1126/science.aax5618. 査読有
- (公) Introduction of covariance components in slip inversion of geodetic data following a non-uniform spatial distribution and application to slip deficit rate estimation in the Nankai Trough subduction zone, *R. Agata, *Geophys J Int*, 2020, 221, 1832–1844, doi:10.1093/gji/ggaa116. 査読有
- (計) Very broadband strain-rate measurements along a submarine fiber-optic cable off Cape Muroto, Nankai subduction zone, Japan, *S. Ide, E. Araki, and H. Matsumoto, *Earth, Planets and Space*, 2020, 73, 63, doi:10.1186/s40623-021-01385-5. 査読有
- (計・公) Seismic energy radiation and along-strike heterogeneities of shallow tectonic tremors at the Nankai Trough and Japan Trench, S. Yabe, S. Baba, T. Tonegawa, M. Nakano, and S. Takemura, *Tectonophysics*, 2021, 800, 228714, doi:10.1016/j.tecto.2020.228714. 査読有

(6) 研究項目 C02 (査読有 52 篇、査読無 2 篇)

- (計) Slip Morphology of Elastic Strips on Frictional Rigid Substrates, *T.G. Sano, T. Yamaguchi, and H. Wada, *Physical Review Letters*, 2017, 118, doi:10.1103/PhysRevLett.118.178001. 査読有
- (計) Temporal gravity anomalies observed in the Tokai area and a possible relationship with slow slips, *Y. Tanaka, T. Suzuki, Y. Imanishi, S. Okubo, X. Zhang, M. Ando, A. Watanabe, M. Saka, C. Kato, S. Oomori, and Y. Hiraoka, *Earth, Planets and Space*, 2017, 70, 25, doi:10.1186/s40623-018-0797-5. 査読有
- (計) Creep-like behavior in athermal threshold dynamics: Effects of disorder and stress, *S. Roy, and T. Hatano, *Phys. Rev. E*, 2018, 97, 062149, doi:10.1103/PhysRevE.97.062149. 査読有

- (計) Rheology of cohesive granular particles under constant pressure, * Y. Yamaguchi, S. Takada, and T. Hatano, J. Phys. Soc. Jpn., 2018, 87, 094802, doi:10.7566/JPSJ.87.094802. 査読有
- (計) Transition between Macroscopic Steady Slippage and Creep Motion in a System with Velocity-Dependent Friction Stress, *T. Suzuki, and H. Matsukawa, J. Phys. Soc. Jpn., 2019, 88, 114402, doi:10.7566/JPSJ.88.114402. 査読有
- (計) Subsonic to Intersonic Transition in Sliding Friction for Soft Solids, *T. Yashiki, T. Morita, Y. Sawae, and T. Yamaguchi, Physical Review Letters, 2020, 124, doi:10.1103/PhysRevLett.124.238001. 査読有

2. 学会発表及び主な招待講演・基調講演

- (1) 研究項目 A01 (国際学会 167 件 (内招待講演 12 件)、国内学会 72 件 (内招待講演 7 件))
- A. Kato, The evolution of fault slip rate prior to earthquake: The role of slow and fast slip modes, International School of Physics "Enrico Fermi", Course 202 - Mechanics of Earthquake Faulting, Varenna (イタリア), 2018 年 7 月 2-7 日
- 小原一成, スロー地震学の創成, 日本地震学会 2018 年秋季大会, ビッグパレットふくしま (福島県郡山市), 2018 年 10 月 9-11 日
- M. Shinohara, Recent seafloor seismic and tsunami observation systems for scientific research and disaster mitigation, International Colloquium of Mexican and Japanese Studies, Mexico City (メキシコ), 2018 年 10 月 17 日
- (2) 研究項目 A02 (国際学会 113 件 (内招待講演 2 件)、国内学会 43 件 (内招待講演 3 件))
- T. Takano, F. Brenguier, P. Boué, T. Takeda, K. Sawazaki, R. Takagi, C. Gradon, J. MacCarthy, K. Nishida, Ambient noise correlations from a dense seafloor seismic observation network (S-net) offshore Honshu, Japan, Moscone Center, San Francisco (米国), 2019 年 12 月 10 日
- M. Kano, A. Kato, K. Obara, Detailed spatial slip distribution for short-term slow slip events and the spatial relation to megathrusts along the Nankai subduction zone, southwest Japan, AGU Fall Meeting 2020, オンライン, 2020 年 12 月 9 日
- (3) 研究項目 B01 (国際学会 94 件 (内招待講演 6 件)、国内学会 24 件 (内招待講演 5 件))
- 汐見勝彦, 防災科研 Hi-net の 20 年: スロー地震の発見とモニタリング, 2018 年度統計関連学会連合大会, 中央大学 (東京都文京区), 2018 年 9 月 12 日
- S. Kita, H. Houston, S. Tanaka, Y. Asano, T. Shibutani and N. Suda, Effect of episodic slow slip on oceanic slab stress state and seismicity near a subduction-zone megathrust, beneath Kii peninsula, southwestern Japan, Moscone Center, San Francisco (米国), 2019 年 12 月 11 日
- (4) 研究項目 B02 (国際学会 191 件 (内招待講演 15 件)、国内学会 56 件 (内招待講演 6 件))
- 氏家恒太郎, プレート境界のすべりダイナミクス, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市), 2017 年 3 月 17-20 日
- Y. Hashimoto, Changes in Paleo-stress Magnitude With Seismic Cycles in Large Thrust Faults, AGU Fall Meeting 2018, Washington DC (米国), 2018 年 12 月 10-14 日
- S. Wallis, Development of high fluid pressure at the base of the shallow mantle wedge due to presence of an antigorite shear zone, Joint Conference of the Geological Sciences, Jeju Island (韓国), 2019 年 10 月 24 日
- (5) 研究項目 C01 (国際学会 280 件 (内招待講演 18 件)、国内学会 94 件 (内招待講演 1 件))
- F. Yamashita, E. Fukuyama, and S. Xu, Two types of foreshock activities observed on a meter-scale laboratory fault: Slow-slip-driven and cascade-up, The 7th International Conference on Coupled THMC Processes, Utrecht Univ. (オランダ), 2019 年 7 月
- E. Fukuyama, S. Xu and F. Yamashita, Paradox in Rupture Propagation Velocity, AGU Fall Meeting 2019, Moscone Center, San Francisco (米国), 2019 年 12 月 13 日
- P. Romanet, A. A. Florent, and S. Ide, The 2016 Mw 7.8 Kaikoura earthquake and its relationship to tremors., EGU General Assembly 2020, オンライン, 2020 年 5 月 4 日
- (6) 研究項目 C02 (国際学会 94 件 (内招待講演 22 件)、国内学会 72 件 (内招待講演 17 件))
- Y. Sumino, Confined chemical garden inspected by the change of flow rate-detailed analysis and modeling of filament pattern,

Solvay workshop on Chemical reactions and separation in flows, Brussels (ベルギー), 2017年4月19-21日
T. Yamaguchi, Sliding friction of polymer gels at various sliding speeds, Okinawa Colloids, 名護市国際会議場(名護), 2019年11月8日
山口哲生, 粘着・剥離現象の可視化とモデリング, ガラス科学技術研究会, ニューガラスフォーラム(東京), 2019年12月17日

3. 書籍 16冊(洋書7冊、和書9冊、専門家向け12冊、一般向け4冊)

- ・井出哲, 絵でわかる地震の科学, 講談社サイエンティフィク, 191pp, 2016.
- ・氏家恒太郎(分担執筆), 海洋底科学の基礎, 日本地質学会「海洋底科学の基礎」編集委員会編, 共立出版, 408pp, 2016.
- ・中島淳一, 日本列島の下では何が起きているのか, 講談社ブルーバックス, 304pp, 2018.
- ・Aitaro Kato(分担執筆), Mechanics of Earthquake Faulting, IOS Press, 230pp, 2019.
- ・中島淳一, 日本列島の未来図鑑, 240pp, 2021.

4. ホームページ: 領域 WEB からの情報発信 158回

5. 主催シンポジウム

- (1) 年次国際研究集会(東京、松山、福岡、仙台、オンライン) 5回
- (2) 海外押しかけワークショップ(ニュージーランド・ウェリントン、チリ・サンチャゴ) 2回
- (3) 一般向けシンポジウム 1回(他の新学術領域研究との共同主催)

6. 一般向けアウトリーチ活動

- (1) 一般向け講演 37回 (内、海外での一般向け講演2回)
 - ・望月公廣・伊藤喜宏、「Talks Offer Opportunity To Learn From Japan」、East Coast LAB、ニュージーランド、2018/03/01
 - ・濱田洋平、未来へのバイオ技術勉強会「地震減災と微生物&〜津波減災、液状化対策、地震波軽減」、バイオインダストリー協会、2020/01/10
 - ・加藤愛太郎、「地震はどこまで分かっているのかー地震学の新パラダイム「スロー地震」から探る」、国立大学附置研究所・センター会議、2020/03/20
 - ・山下裕亮、「地震とは何か?」、宮崎県経営者協会及び宮崎経済同友会例会・講演会、2020/09/28
- (2) 新聞・雑誌94件(内、海外メディア 8件)
 - ・小原一成・加藤愛太郎・竹尾明子・山下裕亮、「防災フロンティア・巨大地震の兆候探る・揺れない「スロー地震」に注目」、日経新聞、2021/01/31
 - ・井出 哲、「地震予測に迫る」、朝日新聞 夕刊、2020/02/19
 - ・上嶋 誠、「Tapping into copper lines for clues」、Gisborne Herald、ニュージーランド、2019/12/11
- (3) テレビ 85件
 - ・NHK スペシャル「MEGAQUAKE 南海トラフ巨大地震」領域出演者2名(小原一成・高木涼太)、2018年9月放映
 - ・NHK サイエンスゼロ「巨大地震予測の新たなカギ スロースリップ」領域出演者3名(小原一成・伊藤喜宏・高木涼太)、2019年3月放映
 - ・NHK 体感! グレートネイチャーSP「火山・鳴動する大地をゆく」領域出演者1名(中島淳一)、2020年10月放映
 - ・NHK サイエンスゼロ「3.11から10年」領域出演者3名(小原一成・井出哲・西川友章)、2021年3月放映
 - ・放送大学特別講義「摩擦の世界」、領域出演者2名(松川宏・氏家恒太郎)、2019年5月7日開講

8 研究組織の連携体制

研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

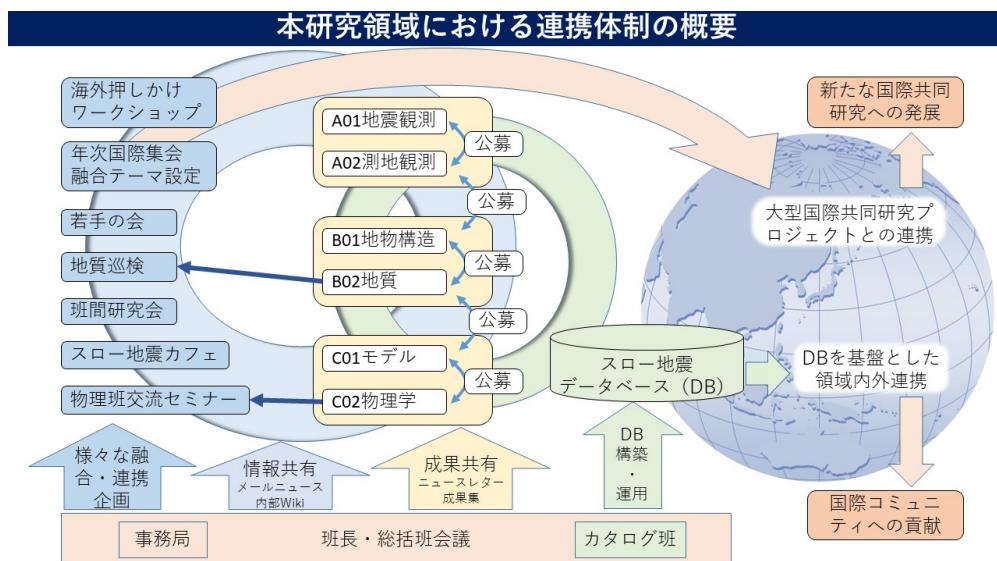
1. 計画研究と公募研究を含む領域全体としての連携・情報共有体制

本領域では、公募研究が有機的に計画研究間を繋ぎ、領域内の連携をさらに強化する役割を果たすとともに、計画研究と公募研究のすべてが領域を構成するものとして、全ての研究者や学生を含めた情報共有体制を構築し、領域全体としての連携を図っている。領域内の多分野融合・連携を強化・促進するため、計画研究の各班長から構成される班長・総括班会議が様々な取り組みを企画する。領域の全構成メンバーはメーリングリストや内部 Wiki に登録し、毎月発行されるメールニュースなどを通じて、本領域の運営方針や活動状況、各種企画等を情報共有している。また、各計画研究や公募研究の研究成果をニュースレターや成果集に集約し、領域内における研究成果の共有や相互理解に活用している。

2. 連携を促進するための研究会・地質巡検企画

班間の連携促進のため、複数の班による合同集会を実施した（観測を実施する A01, A02, B01 観測班集会、モデル構築を担当する C01, C02 合同研究会、観測結果を比較する A01, A02 合同研究会など）。また、第5章にも記載の通り、物理班や地質班との異分野連携を促進するため、物理班交流セミナー、スロー地震カフェ

、合宿形式の地質巡検を頻繁に開催した。2019年の年次国際研究集会においては各研究分野を超えて共通的なテーマを複数設定し、トップダウンによる連携の枠組みを与えた。併行して開催した若手の会では、異分野の若手研究者間の連携を強化するための交流の機会を設け、ボトムアップ的な共同研究立案の促進を図った。



3. スロー地震データベースによる領域内連携、及び国際研究コミュニティへの貢献

本領域では総括班活動の一環としてカタログ班を設置し、国際標準としてのスロー地震データベースの構築・整備を進めた。その目的は、すべての計画研究班が観測結果を共有し、領域内連携を強化するとともに融合研究を促進することである。同時に、スロー地震カタログを日本が主導して標準化し、海外にもその利用を促進することで、本領域と世界のスロー地震研究者との連携を強化し、スロー地震研究のさらなる国際的発展と我が国のリーダーシップ的位置づけを維持・強化することも目的としている。2017年12月の公開当初は登録カタログ数が29であったが、2021年3月末で71に達し、領域内外における研究基盤として十分に機能したとともに、当該研究分野の国際研究コミュニティの発展に対して大きく貢献したものと言える。

4. 他の大型国際共同研究プロジェクトとの連携

本領域では、関連する大型国際共同研究プロジェクトとの連携を図ることにより、本領域内での連携強化に繋げてきた。具体的には、メキシコで実施中の地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) やニュージーランド沖海底掘削計画等の大規模な国際共同研究と連携し、これらの関係者が本領域の年次国際研究集会やニュージーランドで開催した押しかけワークショップに参加することで本領域との研究交流が深まり、新たな国際共同研究が始まるなど、領域内外・国内外の連携がさらに強化された。

9 研究費の使用状況

研究領域全体を通じ、研究費の使用状況や効果的使用の工夫、設備等（本研究領域内で共用する設備・装置の購入・開発・運用、実験資料・資材の提供など）の活用状況について、総括班研究課題の活動状況と併せて具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。また、領域設定期間最終年度の繰越しが承認された計画研究（総括班・国際活動支援班を含む。）がある場合は、その内容を記述すること。

1. 研究費の使用状況（総括班および国際活動支援班）

本領域では、各計画研究において設備備品を必要に応じて導入している。総括班では、領域で共用する物品として平成28年度にデータサーバを導入し、これにより「スロー地震データベース」の構築が可能となった。このデータベースは、本領域で得られた結果の共有だけでなく、領域外で得られた結果を含めてスロー地震カタログの国際標準化を行い、全世界の研究者が利用可能な共通プラットフォームを構築するもので、スロー地震研究の世界的発展に大きく貢献している。総括班経費は、このデータベースの運用のほか、領域内の情報共有・研究交流活動、領域外への研究成果発信活動等に使用された。具体的には、データベース運用のためのRA雇用、年次国際研究集会の運営、総括班・班長会議等の開催、スロー地震カフェ、領域全体の地質巡検、若手の会の活動等の異分野連携を目的とした研究活動への支援、また、ニュースレター、リーフレット、成果集等の出版物作成などである。

国際活動支援経費は、年次国際研究集会における海外招聘研究者の国際旅費や会議費、日本地球惑星科学連合大会における本領域主催の特別セッションへの招待講演者旅費、国際共同研究を推進するための海外研究者長期招聘旅費、若手研究者育成のための海外派遣旅費、ニュースレターやリーフレットの英語版印刷等に使用された。特に、海外押しかけワークショップは国際活動支援班の主要事業として実施し、2018年ニュージーランドのワークショップは日本との二国間ではなく、英・米国も含め合計65名の研究者が参加したとともに、現地2か所で一般市民を対象とした国際アウトリーチ活動も行った。2019年チリについても大規模な多国間の国際集会を準備していたが、直前に発生した暴動のため規模を大幅に縮小し8名の研究者を派遣して事業を遂行した。本領域の年次国際研究集会は、東京大学地震研究所及び京都大学防災研究所の共同利用・共同研究拠点制度における研究集会との合同開催として、両研究所に申請・採択されており、その研究集会予算を学生を含む若手研究者等の参加旅費等の支援に充てるなど、研究費の効率的運用を進めてきた。また、2019年に仙台で開催された年次国際研究集会の際には、地元自治体関係機関による国際会議開催補助金も獲得し、海外研究者招聘旅費に充てるなど、研究費の効率的運用を図りつつ、本領域のより一層の国際化を推進した。以上の国際的研究活動を推進するにあたっては、海外研究者との連絡調整を円滑に行う必要があるため語学堪能な学術支援専門職員を総括班経費で雇用し、さらに領域全体の支援業務を担当させた。

2. 研究費の使用状況（総括班以外の計画研究班）

観測を行う計画研究班（A01、A02、B01）では、下記のように観測機器、得られたデータの共有を行っている。なお、いずれの班においても、利用可能な既存の観測機器・実験設備・計算機を積極的に活用し、それでは対応できない物品のみを購入している。

A01班では、四国西部の深部スロー地震等のより詳細な活動を明らかにするため、広帯域地震計の購入・設置を行い、そこで得られるデータはB01班におけるレシーバ関数等を用いたプレート境界高解像度不均質構造のイメージング解析にも共有されている。また、南海トラフ西部域における浅部スロー地震把握のため備船を用いて海底地震計・圧力計などの観測機器の設置回収を行い、そこから得られるデータはA02班のスロースリップ解析、B01班の海域における構造調査などにも用いられる。

A02班では、西南日本の各所で発生するスロースリップイベント（SSE）による地殻変動を観測し、SSEの活動様式やその地域性を詳細に明らかにするために、GNSS受信機等の購入やその設置に係る費用を支出している。ここで得られるデータはA01班におけるスロー地震観測等と共有され、スロー地震の発生メカニズムの理解に役立てられている。

B01班では、豊後水道沖合の海域及び四国西部での陸域電磁気観測のための機器整備・観測を進めることで、沈み込むプレート境界周辺の詳細な地震学的構造や水の分布を明らかにしつつある。特に、豊後水道沖合の海域電磁気観測は本研究領域で初めて行われたもので、平成29年度末で8地点における観測を行った。海域の2観測点では圧力計も装備し、A02班とデータを共有して研究を進めた。また、令和元年度、令和2年度にそれぞれ、四国西部の陸域、および豊後水道沖合の海域で人工震源を使用した大規模

地震波構造調査を実施し、ともに良好な調査記録の取得に成功した。調査領域周辺には、陸域・海域ともに過去に取得された構造調査の記録が存在し、これらの記録を合わせてプレートの沈み込み構造について解析を進めており、構造の不均質とスロー地震活動領域との良い相関が明らかになっている。以上の観測・解析を通じて得られるスロー地震カタログは、カタログ班によってスロー地震データベースに登録され、領域内での共同研究のみならず、領域外でのスロー地震研究推進に供される。

他の計画班では、室内実験及び観察のための機器 (B02、C02)、解析及び数値計算用サーバ (C01、C02) を導入し、地質学と非平衡物理学との本格的な融合研究のための実験的、理論的研究環境整備として有効に利用されている。

B02 班では、深部プレート境界域で変形した変成岩から採取した試料を対象に電界放出形分析走査電子顕微鏡システムを用いた微細構造観察・解析、化学組成分析を行うことで、高流体圧発生に伴う脆性破壊で形成された鉱物脈の同定、延性変形メカニズムを担う鉱物の特定、延性変形メカニズムが明らかになりつつある。また、前弧マントルウエッジの構成岩石である蛇紋岩とかんらん岩を用いたフーリエ赤外分光法による分析により、含水量を導き出すことに成功した。実験的研究では、構築した透水連続フローシステムで摩擦実験を行うことにより、流体が流れている環境では剪断変形による圧密の進行が抑制され、強度回復も早く進行することが明らかになった。

C02 班では、スロー地震活動の痕跡とみられる地質学的構造の形成過程を推定するため粘弾性物質を用いたアナログ実験を行っている。まず、試料となる高分子ゲルを調製する際に必要な真空ポンプや恒温高湿器を導入し、動的変形挙動を可視化して応力データを収集するために高速度カメラおよび AD コンバータを使用した。同様に、流体可視化光源 PIV とマイクロ스코プ VH-Z00R を導入して流動場の高精度測定も行った。

3. 領域設定期間最終年度の繰越しが承認された計画研究における内容

本領域の最終年度である令和 2 年度はコロナ禍のため、研究活動の一部について計画通りの執行が困難となり、すべての計画研究において繰越しを申請した。

国際活動支援班では、令和 3 年度に年次国際研究集会の開催、若手研究者育成を目的とした海外派遣、海外研究者の長期招聘を進める。

総括班では、総括班・班長会議、スロー地震カフェ、若手の会の活動支援などの領域運営、領域内情報共有・研究交流活動を実施する。これらの事業を継続的に進めるため、学術専門職員を引き続き雇用する。

A01 班では、令和 2 年度中に予定していた広帯域地震観測点の撤収が実施できなかったため、令和 3 年度に繰越しして撤収作業、およびそのデータの共有化の作業を実施する。

A02 班では、令和 2 年度中に予定していた GNSS 観測点の保守作業が実施できなかったため、令和 3 年度に繰越ししてこれらの作業、および取得されたデータの解析等を実施する。

B01 班では、令和 2 年度に実施ができなかった観測データの収集や、共同研究機関との解析結果の精査と議論を実施し、地下構造とスロー地震活動との関係について結果をまとめる。

B02 班では、令和 2 年度中に予定していた地質調査、海外での室内共同実験が実施できなかったため、これらの調査、実験を令和 3 年度に繰越しして実施する。

C01 班では、令和 2 年度に行ったモデル計算、データ解析、実験成果をまとめて公表する予定である。またスロー地震データベースを充実させ、今度別のプロジェクトで用いるためにアーカイブ化する。

C02 班では、令和 2 年度中に予定していた連続体変形実験における応力の空間不安定性についての理論的解析が実施できなかったため、令和 3 年度に繰越ししてこれを行う。

10 当該学問分野及び関連学問分野への貢献の状況

研究領域全体を通じ、本研究領域の成果が当該学問分野や関連学問分野に与えたインパクトや波及効果などについて、「革新的・創造的な学術研究の発展」の観点から、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、応募時に「①既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指すもの」、「②当該領域の各分野発展・飛躍的な展開を目指すもの」のどちらを選択したか、また、どの程度達成できたかを明確にすること。

1. 当該学問分野や関連学問分野に与えたインパクトや波及効果

本領域の固体地球科学分野の研究者が集う日本地球惑星科学連合や米国地球物理学連合では、地震学と測地学だけでなく地質学や非平衡物理学も加えた融合的研究分野としてスロー地震特別セッションが毎年採択されている。このことは、本領域の活動を契機にスロー地震研究が国内外でさらに発展し、当該学問分野に大きなインパクトを与えていることを示している。また、日本地質学会 2021 年大会ではスロー地震特別セッションが採択され、米国地質学会のプレミア研究集会であるペンローズ会議（2022 年 4 月）でもスロー地震がテーマとして選ばれ、いずれも本領域の研究代表者が招待講演を行う予定である。以上のように、本領域の融合研究の結果が、国際研究コミュニティに大きなインパクトを与えてきた。

本領域での成果として、巨大地震の発生過程にスロー地震が果たす役割がより明確となり、大地震の予測研究分野に対して大きな影響を与えた。さらに、国の防災行政にも大きなインパクトを与え、東海地震の予知を前提とした防災体制は、2019 年に南海トラフ巨大地震に関する臨時情報を発出する体制に転換し、その情報発出の評価項目としてスロー地震を取り上げることになった。今後は、臨時情報発出基準の具体的設定が必要であり、当該学問分野が解決すべき社会的に重要度の高い課題として大きなインパクトを与えたものと言える。

2. 革新的・創造的な学術研究の発展への貢献

本領域における地球物理学と地質学の融合研究の成果として、地表における付加体・変成岩露頭に過去のスロー地震の発生履歴が記録されている可能性が明らかにされた。これは日本列島形成史の時間分解能を格段に高め、地質学において非常に革新的な研究発展に貢献する可能性がある。

本領域における研究成果として、スロー地震の広帯域的特性が明らかになった一方、逆にこれまでの技術では計測不可能な帯域も明確化された。その計測ギャップを解消することを大きなモチベーションとして、光ファイバー計測技術や量子光計測技術、ロボット計測技術を取り入れた、新たな計測技術開発が推進されつつあり、さらに新たなサイエンスを切り拓く創造的な学術研究への発展に貢献している。

スロー地震という非常に微弱な振動現象を検出するために本領域で開発・改良された手法・システムは、普通の地震の検出にも大変効果的である。また、微弱なスロー地震を検出するために、本領域では水圧計やひずみ計などの機器開発・改良がなされ、これらはスロー地震に限らず大地震前後の地殻変動の詳細を把握するうえでも大変有効であり、今後の地震学発展に大きく貢献する。非平衡物理学との融合研究により、スロー地震には不均質性の存在が本質的に重要であることが明らかとなり、それを機に、ブレーキパッドや木材接合部、スポーツシューズなどの材料においても不均質性を意図的に導入・制御することによって望みの特性を得るといった工学的な応用研究に発展しつつある。

3. 「②当該領域の格段の発展・飛躍的な展開を目指すもの」としての達成状況

本領域ではスロー地震の系統性や多様性がより明確となり、それらを説明するモデルの提唱など、基本的な理解が飛躍的に進んだ。これらは、スロー地震と普通の大地震との相互作用や将来予測に関する HPC などを活用した研究の基礎となり、今後の格段の進展が期待できる。

本領域における地球物理学と地質学の融合研究の成果として、地表における付加体・変成岩露頭に過去のスロー地震の発生履歴が記録されている可能性が明らかにされた。これはスロー地震の長期間に及ぶ活動の推移を明らかにするとともに、それに影響を及ぼす環境要因との相互作用を明らかにするうえで、大変重要な成果であり、スロー地震研究において格段の発展・飛躍的な展開を達成したものと言える。

11 若手研究者の育成に関する取組実績

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究遂行に携わった若手研究者（令和3年3月末現在で39歳以下。研究協力者やポスドク、途中で追加・削除した者を含む。）の育成に係る取組の実績について、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

1. 若手研究者海外派遣

若手研究者に在外研究の機会を積極的に提供し、国際的に活躍する研究者としての育成を目的として、国際活動支援班による国際研究交流事業として4年間で10名の若手研究者を海外研究機関に派遣した（総計318人日）。なお、5年目は3名の派遣が決定していたが、コロナ禍のため渡航は延期されている。

2. 国内外サマースクールの共催と大学院生派遣

2017年10月にフランスコルシカ島にて開催された地震学に関する国際サマースクールを海外研究機関と共催し、本領域から講師2名と大学院生3名を派遣するとともに、国内外の若手研究者の育成に貢献した。また、2018年9月の日本地震学会夏の学校を共催し、講師2名を派遣してスロー地震に関する講義を行ったとともに領域内外の学生の参加支援を行い、スロー地震研究の普及に努めた。

3. 海外押しかけワークショップへの若手研究者派遣

第1回目のニュージーランドには本領域から総勢27名のうち若手研究者11名を派遣した。第2回目のチリについては、あいにくワークショップ開催直前にチリにて暴動が発生したため、規模を最小限に止めたが、本領域から総勢8名のうち若手研究者6名を派遣し、海外研究者との議論・交流の機会を提供した。

4. 年次国際研究集会への参加支援

本領域の年次国際研究集会において、主として若手研究者に対する参加支援を目的とし、平成28年度5名、平成29年度32名（うち海外招聘11名）、平成30年度34名（うち海外招聘13名）、令和元年度28名（うち海外招聘6名）、合計99名（うち海外招聘30名）の研究集会参加旅費の補助を行なった。

5. 託児システム構築

本領域の年次国際研究集会（平成29年度愛媛県松山市、30年度福岡県福岡市、31年度宮城県仙台市）では、若手研究者、特に女性研究者の研究活動及びキャリア構築支援のため、託児システムの構築と運営を実施し、総括班において託児施設の選定と交渉を行うとともに、託児利用費用の補助を行った。

6. 若手の会

本領域における若手研究者間の異分野研究交流を目的とし、研究会方式、合宿方式、オンライン方式にて交流会を計3回実施し、延べ約80名が参加した。この交流会を通じて異分野融合の共同研究がいくつか誕生している。また、この若手の会を通じて、次に述べる1対1メンタリングや若手研究者を中心としたランチ会などの、人材育成に関わる企画が自主的に立案されるなど、課題解決能力の向上に大きく貢献している。

7. 若手研究者と中堅・シニア研究者との1対1メンタリング

若手研究者人材育成の試みとして、進路や研究に関する悩みの解決に役立てるため、中堅・シニア研究者との1対1メンタリング（相談会）を企画し、これまでに11ペアで実施され、大変好評を博している。

8. 若手研究者を中心としたランチ会

若手研究者間において、コロナ禍における研究環境等を含む様々な情報交換を主目的として、ランチ会をオンラインにて隔週で開催しており、これまで29回のランチ会に延べ250名が参加している。

9. 本領域雇用のポスドクの就職状況

本領域で雇用したポスドク7名の就職状況は、大学准教授1名、大学助教2名、大学研究員2名、国立研究開発法人研究員1名、海外大学研究員1名であり、すべて研究職に採用された。

10. 若手研究者受賞状況

本領域の若手研究者の受賞状況は次の通りである。国際学会での Outstanding Student Paper Awards 2名、国内学会学生優秀発表賞30名、国内学会若手研究者学術奨励賞13名、文部科学大臣表彰2名。

12 総括班評価者による評価

研究領域全体を通じ、総括班評価者による評価体制（総括班評価者の氏名や所属等）や本研究領域に対する評価コメントについて、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

1. 評価体制

本領域は、スロー地震を対象として地震学、測地学、地球物理学、地質学、非平衡物理学による融合研究を繰り広げることで、低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的な理解を促進し、地震学の再構築につながるマイルストーンを築くことを目的とする。このため、幅広く固体地球科学分野での研究にかかわってきた鈴木貞臣（元九州大学理学研究院教授）が総括班評価者として評価を行った。

2. 評価コメント

(1) 全体を通しての印象

非火山地域、特に海洋プレートの沈み込み帯で発生する深部低周波微動（地震）は2000年前後に日本で初めて発見され、また微動の発生とほぼ同時にスロースリップが起こっていることも観測された。その後、浅い所でも低周波微動（地震）やスロースリップが観測され、さらに沈み込み帯のみならず世界各地の色々な場所で同様の現象が見つかっている。これらの現象を総称してスロー地震と呼んでいる。スロー地震は微小な地震にとどまらず、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)のような巨大地震も非弾的なゆっくり滑りによって大津波を発生させるなど、まさにスロー地震の性質そのものを持っていることが分かってきた。今、世界の研究を俯瞰すると、スロー地震の発見の現象論的段階が過ぎ、理解の本質論的段階へと進もうとしている。本領域研究はそのマイルストーンとなることを目指している。スロー地震の発見の段階においても、日本は世界を主導する立場にあったが、それを理解する本質論的段階においてもリーダーシップを執り続けることを本領域研究の目標としている。これにより得られた研究成果はどの班においても高い国際水準を有しており、領域の研究集会には各分野で国際的に優れた著名な研究者が数多く参加している。海外で行われたアウトリーチ活動や若手研究者の育成活動も、領域の研究活動が国際的に高い水準にあることを示している。また、地質学や非平衡物理学との異分野融合研究は本領域において本格的に始まったところであるが、例えば、付加体露頭の地質学的観察による「レオロジー不均質性」に基づいて、非平衡物理学的モデルによるスローな現象の再現や、地球物理学的モデルによりスロー地震発生様式の系統的遷移性の発見など、画期的な試みとして公募研究と連携して成果をあげている。この様に、スロー地震研究の旗印のもとに、多くの学会に新風を吹き込み、沢山の若い研究者や研究者の卵達を巻き込んで、スロー地震の基本的な理解の達成をコアとして、国際研究コミュニティの牽引力を強化し、巨大地震発生予測に関連する研究成果を活用して社会的にも貢献している。本領域研究は一定の成果をあげ、今後も大きく進展することが期待できるとの印象をもった。

(2) 総括班・国際活動支援班について

総括班は、6つの計画班の連携を促すために、研究集会の開催、学会でのセッション立案を初めとする種々の取り組みを活発に行っている。特に、毎年国内で開催する国際研究集会では、東大地震研、京大防災研の共同利用制度を活用し、隣接分野の研究集会と合同で開催することで、効率的に研究コミュニティの拡大を行っている。また、総括班の活動の具体的な成果として、複数の計画研究班の協力で構築された「スロー地震データベース」が、世界へ向けて平成29年度より公開されている。これは、観測データの国際標準化も含めて、日本が世界の期待に応えてスロー地震の研究をリードしていることを表している。若手研究者の海外派遣、招聘、研究集会参加の支援が積極的に行われている。すべての計画研究班で若手研究者がそれぞれの国内学会のみならず国際学会においても受賞している。さらに文部科学大臣賞を2名が受賞したことは特に注目に値する。国内研究集会、日本地球惑星科学連合大会、スロー地震カフェにおいて、計画研究班のそれぞれの分野の第一線で活躍している著名研究者を招聘している。また、国際地震学会夏の学校を共同開催し講師や学生を派遣した。更に、海外押しかけワークショップの第1回目をニュージーランド、第2回目をチリで実施した。

審査結果の留意事項に挙げられていた、地質学、物理学とより深く連携するための工夫、仕組み作りを2つの計画研究班(B02、C02)が中心になって全班で協力し、実施している。まず、異分野の研究者をスロー地震の発生域へ招待する地質巡検、合宿方式の小研究集会を行い、刺激的でかつ議論を深める仕組

みを構築した。研究期間が開始して間もないが、すでに物理学会でのスロー地震関連シンポジウムの開催や、物理班と他班の共著による論文も出版されており、今後の成果が期待される。地震学と地質学や非平衡物理学との異分野融合研究は世界的にも注目されている。特に、物理学者を巻き込んだ地震研究が実現するのは画期的なことである。

(3) 各計画研究について

A01 地震観測

計画が当初を上回るペースで進み、スロー地震の発生原理に関わる詳細な摩擦特性や応力や流体の拡散現象が明らかになってきた。また、スロー地震データベースの活用により、広範囲にわたるスロー地震間の相互作用の存在が確かめられ、巨大地震震源域に対する影響を評価するための重要なデータとなっている。

A02 測地観測

スロースリップイベントの検出方法の高度化やデータベースの作成が行われ、A01 班で得られる各種スロー地震の活動との比較が進められた。さらに、水の動きを解明するための精密重力観測において C02 班と共同研究が実施され、本計画研究の主目標である物理学との融合研究のひとつが達成された。

B01 地球物理学的構造調査

プレート境界深部での水の分布を把握するための観測と解析の高度化が行われ、プレート境界の非排水性による高間隙水圧がスロー地震の発生要因であるとの新しいモデルが提案された。その成果を踏まえ、ニュージーランドでの国際共同研究では、海域観測データの解析、陸域電磁気観測が進められた。さらに、スロースリップ発生に伴う水の動きをとらえたと考えられる重要な結果が得られている。初期の予想を超えた目覚ましい進展がみられたと判断される。

B02 地質

B01 で指摘されているスロー地震発生と岩石中の水との関わりは非常に重要であり、地震発生域の物質の挙動を探るため、高温・高圧・高間隙水圧条件下で摩擦実験や、高速すべり・高間隙水圧下での断層物質の透水性変化を評価できる装置を開発し、水が断層運動に及ぼす影響などの解明を進めた。また、スロー地震の地質学的痕跡を発見し、その微細構造から過去のスロー地震の履歴を解明したことは、観測分野との融合研究の代表例であり、本領域としての分野融合が進んだことを示している。

C01 地球科学的モデル構築

当初の研究計画を上回る成果が得られた。例えば、脈動帯域におけるスロー地震シグナルを発見し、スロー地震の広帯域性を解明し、諸現象の時空間的な関連性の解明に貢献した。またこの広帯域性のモデル化だけでなく、熱や水、複数断層などを取り入れた様々なモデルを開発し、スロー地震の発生原理に関する理解が飛躍的に進んだ。

C02 非平衡物理・非線形力学

弾性体・粘性流体を用いた摩擦・変形実験を行い、様々な地震サイクル挙動を再現できることを発見した。これら室内実験を用いて低速、高速破壊の再現に成功するとともに、実験結果を実際の地球に適用するための理論が構築され、スロー地震と通常地震を統一的に記述する数理モデルを得た。他班との共同研究による分野間融合研究も積極的に行われた。

結論

本領域研究が、全体を通して当初の計画を着実に実行し、想定以上の世界的研究成果を上げた。本領域での成果を踏まえ、今後もスロー地震の研究はさらに大きな発展を遂げることを期待する。